

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2000-30065
(P2000-30065A)

(43) 公開日 平成12年1月28日 (2000.1.28)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード(参考)
G 0 6 T	7/00	G 0 6 F 15/70	4 6 0 Z 5 B 0 4 3
	1/00	15/62	3 8 0 5 B 0 5 7
			4 6 5 K 5 L 0 9 6

審査請求 未請求 請求項の数 7 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願平10-199128

(22) 出願日 平成10年7月14日 (1998.7.14)

(71) 出願人 000003078

株式会社東芝
神奈川県川崎市幸区堀川町72番地

(72) 発明者 福井 和広

兵庫県神戸市東灘区本山南町8-6-26
株式会社東芝関西研究所内

(72) 発明者 山口 修

兵庫県神戸市東灘区本山南町8-6-26
株式会社東芝関西研究所内

(74) 代理人 100059225

弁理士 葛田 瑋子 (外1名)

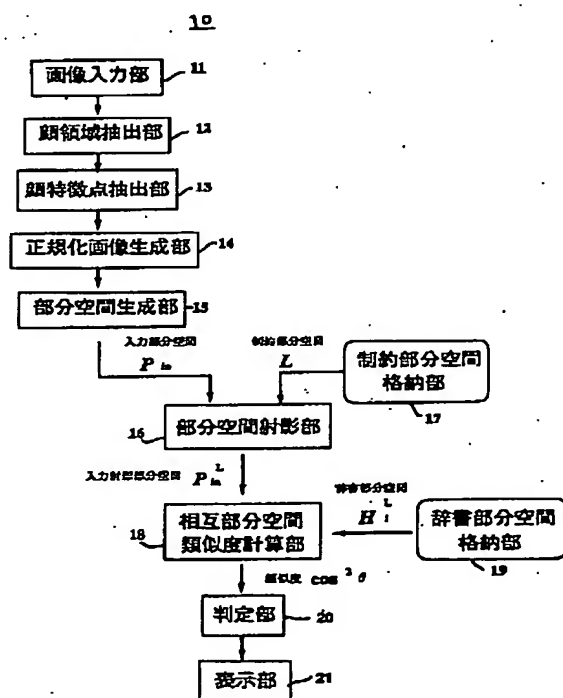
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パターン認識装置及びその方法

(57) 【要約】

【課題】 個人識別に不必要なパターン変化を取り除くことにより、これらの変動成分の影響を最小限に抑えた安定なパターン認識装置を提供する。

【解決手段】 画像入力部11、顔領域抽出部12、顔特徴点抽出部13、正規化画像生成部14、部分空間生成部15、制約部分空間格納部16、辞書部分空間格納部17、部分空間射影部18、相互部分空間類似度計算部19、判定部20、表示部21からなり、入力パターンから入力部分空間を算出し、辞書パターンから辞書部分空間を算出し、制約条件から制約部分空間を算出し、入力部分空間と辞書部分空間を、制約部分空間に射影し、これから入力パターンと辞書パターンとを識別する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 認識したい対象の入力パターンを入力する入力手段と、

前記入力手段の入力パターンから入力部分空間を算出する入力部分空間算出手段と、

前記対象に関する辞書パターンから辞書部分空間を算出する辞書部分空間算出手段と、

パターン認識において不要なパターンの条件を抑制するための制約条件から制約部分空間を算出する制約条件算出手段と、

前記入力部分空間算出手段の入力部分空間と、前記辞書部分空間算出手段の辞書部分空間を、前記制約条件算出手段の制約部分空間に射影する射影手段と、

前記射影手段によって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間とから、前記対象を識別する識別手段を具備したことを特徴とするパターン認識装置。

【請求項 2】 前記識別手段は、

前記射影手段によって射影された制約部分空間内における入力部分空間と辞書部分空間との成す角度である正準角を計算し、

この計算した正準角に基づいて、前記入力部分空間と前記辞書部分空間との類似度を計算することを特徴とする請求項 1 記載のパターン認識装置。

【請求項 3】 前記制約条件算出手段は、

パターン認識において不要なパターンの条件を発生させる要因の影響下において算出された複数の第 1 部分空間から求まる差分部分空間の集合から、前記要因の影響を取除いた第 2 部分空間を生成し、

この生成した第 2 部分空間を前記制約部分空間とすることを特徴とする請求項 1 記載のパターン認識装置。

【請求項 4】 前記制約条件算出手段は、

前記対象に関する部分空間内の自己変動を表す複数の自己変動部分空間の集合から自己変動成分を取除いた第 3 部分空間を生成し、

この生成した第 3 部分空間を前記制約部分空間とすることを特徴とする請求項 1 記載のパターン認識装置。

【請求項 5】 前記制約条件算出手段は、

パターン認識において不要なパターンの条件を発生させる要因の影響下において算出された複数の第 1 部分空間から求まる差分部分空間の集合から、前記要因の影響を取除いた第 2 部分空間を生成し、

前記対象に関する部分空間内の自己変動を表す複数の自己変動部分空間の集合から自己変動成分を取除いた第 3 部分空間を生成し、

この生成した第 2 部分空間と第 3 部分空間とから前記制約部分空間を求めることを特徴とする請求項 1 記載のパターン認識装置。

【請求項 6】 認識したい対象の入力パターンを入力する入力ステップと、

前記入力ステップにおける入力パターンから入力部分空

間を算出する入力部分空間算出ステップと、

前記対象に関する辞書パターンから辞書部分空間を算出する辞書部分空間算出ステップと、

パターン認識において不要なパターンの条件を抑制するための制約条件から制約部分空間を算出する制約条件算出ステップと、

前記入力部分空間算出ステップの入力部分空間と、前記辞書部分空間算出ステップの辞書部分空間を、前記制約条件算出ステップの制約部分空間に射影する射影ステップと、

前記射影ステップによって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間とから、前記対象を識別する識別ステップを具備したことを特徴とするパターン認識方法。

【請求項 7】 認識したい対象の入力パターンを入力する入力機能と、

前記入力機能における入力パターンから入力部分空間を算出する入力部分空間算出機能と、

前記対象に関する辞書パターンから辞書部分空間を算出する辞書部分空間算出機能と、

パターン認識において不要なパターンの条件を抑制するための制約条件から制約部分空間を算出する制約条件算出機能と、

前記入力部分空間算出機能の入力部分空間と、前記辞書部分空間算出機能の辞書部分空間を、前記制約条件算出機能の制約部分空間に射影する射影機能と、

前記射影機能によって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間とから、前記対象を識別する識別機能を実現するプログラムを記録したことを特徴とするパターン認識方法の記録媒体。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 パターン情報に混入する識別に不必要なパターン情報を効率良く取り除いてパターン認識を安定に行う発明に関する。

【0002】

【従来の技術】 (従来のパターンの認識の内容) まず、従来の顔画像を対象にしたパターンの認識を例にとって説明する。

【0003】 顔画像による個人認識は、指紋や手形による識別に比べて非接触で行なえるため使用者の心理的な負担が少なく、ヒューマンインタフェースからセキュリティシステムまで様々な分野への適用が考えられる。

【0004】 最近の顔画像認識の技術動向に関しては、文献〔塩野充、真田英彦：“個人認証技術の最近の研究動向”、信学技報OSF92-17〕が詳しいが、従来の顔画像識別法は、大きく分けると以下の 2 つの方法に分類できる。

【0005】 第 1 の方法は、目、鼻、口などの特徴点の位置、形状、サイズをパラメータ化して特徴ベクトルを

10

20

30

40

50

生成し、予め登録されている対象人物の特徴ベクトルとの類似度を計算する方法である。最も類似度が高い辞書ベクトルを表す人物を当人と識別する。これらは「構造解析的方法」に分類される。

【0006】第2の方法は、瞳、鼻などの特徴点を基準とした2次元affine変換などの幾何学変換により位置、サイズを正規化された画像と予め登録されている辞書正規化画像とのパターンの類似度に基づいた方法である。第1の方法と同様に最も類似度が高い辞書画像を表す人物を当人と識別する。これらは従来の文字認識で実用化されている方法で「パターンの方法」に分類できる。

【0007】そして、文献〔赤松茂“コンピュータによる顔の認識の研究動向”、電子情報通信学会誌Vol.80〕によると、第1の方法に比べて第2の方法が識別率が高いことが報告されている。

【0008】第2の方法であるパターンの方法の代表である部分空間法は、これまで文字認識等で幅広く用いられてきた。入力ベクトルと各辞書部分空間との角度を類似度として求め、最小角度を成す部分空間に対応するカテゴリを入力ベクトルのカテゴリと決定する。単純な相

10

ターンの変形に対する吸収能力に優れている。部分空間法に関する詳細は、「飯島泰蔵“パターン認識理論”森北出版(1989年)」「エルッキ・オヤ著“パターン認識と部分空間法”産業図書(1986年)」などに詳しい。

【0009】さらにパターン変形に対する吸収能力を高めた相互部分空間法〔前田賢一、渡辺貞一、“局所的構造を導入したパターン・マッチング法”、信学論(D)、vol. J68-D, No. 3, pp. 345-352, 1985〕、特許〔3次元物体認識装置及びその方法：特願平10-66663号〕が開発されている。

【0010】(相互部分空間法) ここで、相互部分空間法は、本発明の理解の前提となるため、その内容を以下に詳しく説明する。

【0011】相互部分空間法では、辞書側と同様に入力側も部分空間で表し、入力部分空間と辞書部分空間の成す角度 θ の $\cos^2 \theta$ を類似度とする。

【0012】具体的には $\cos^2 \theta$ は以下の式で定義される。

【0013】

【数1】

$$\cos^2 \theta = \sup_{\substack{u \in P, v \in Q \\ \|u\| \neq 0, \|v\| \neq 0}} \frac{|(u, v)|^2}{\|u\|^2 \|v\|^2} \quad (1)$$

なお、電子出願書式の関係で、イメージ入力する以外の箇所では部分空間を表す筆記体の P は \mathbf{P} 、 Q は \mathbf{Q} 、 D は \mathbf{D} 、 H は \mathbf{H} で表す。

入力部分空間 \mathbf{P} に対する射影行列を P 、辞書部分空間 \mathbf{Q} の射影行列を Q とすると、部分空間 \mathbf{P} と \mathbf{Q} との成す角度 θ の $\cos^2 \theta$ は、 QPQ あるいは PQP の固

30 有値となる。

【0014】

【数2】

この固有値問題は、次元数の小さい固有値問題に置き換えられる。QPQ の固有ベクトルを $v \in Q$ 、 ϕ, ψ を各部分空間 P, Q における基底ベクトルとすると、以下の式が成り立つ。

$$P = \sum_{m=1}^M \langle \phi_m, \phi_m \rangle \quad (2)$$

$$Q = \sum_{n=1}^N \langle \psi_n, \psi_n \rangle \quad (3)$$

QPQ の固有値問題は以下の式で表される。

$$QPQv = \lambda v \quad (4)$$

ここで、 $v \in Q$ なので、

$$v = \sum_{k=1}^N c_k \psi_k \quad (5)$$

と表現できる。式 (4) の左辺は、式 (5) を代入して、

$$\lambda v = \sum_{k=1}^N \lambda c_k \psi_k \quad (6)$$

となる。一方、右辺は、式 (2),(3) を代入して、

$$QPQv = \sum_{k=1}^N \sum_{i=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N \langle \psi_i, \psi_i \rangle \langle \phi_m, \phi_m \rangle \langle \psi_n, \psi_n \rangle c_k \psi_k \quad (7)$$

となる。

【数 3】

【0015】さらに計算の順序を変えて整理すると、

$$= \sum_{k=1}^N \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (\psi_k, \phi_m) (\phi_m, \psi_n) c_n \psi_k \quad (8)$$

となる。式 (6) と式 (8) の同じ ψ_k について見ると、

$$\lambda c_k = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N (\psi_k, \phi_m) (\phi_m, \psi_n) c_n \quad (9)$$

が成立する。ここで、

$$c' = (c_1, c_2, \dots, c_N) \quad (10)$$

$$X = (x_{ij}) \quad (11)$$

$$x_{ij} = \sum_{m=1}^M (\psi_i, \phi_m) (\phi_m, \psi_n) \quad (12)$$

と置くと、式 (9) は、

$$\lambda c = Xc \quad (13)$$

という行列 X の固有値問題となる。

os² θ1 となる。

【0016】 X の最大固有値が求める最小角度 θ_1 の c 50 【0017】第 2 固有値は、最大角に直交する方向に計

った角度の $\cos^2 \theta_2$ 、以下同様に N 個の $\cos^2 \theta_i$ が順次求まる。

【0018】これらの N 個の角度 θ は、2つの部分空間が成す“正準角”として知られている。正準角については、文献[F. chatclin, “行列の固有値”、伊理正夫、伊理由実訳、シュプリンガー・フェアラーク東京、1993年]などに詳しい。

【0019】相互部分空間法は、入力側も辞書側と同様に部分空間で表現するために、パターン変形に対する吸収能力が非常に高い。入力部分空間は、入力される複数枚の画像セットに対して KL 展開により求める。あるいは、同時反復法を用いて、動画像から逐次生成することも可能である。

【0020】

【発明が解決しようとする課題】ところで、画像を用いた顔認識法の識別性能は、以下に挙げる変動の影響を受け易い。

【0021】1. 顔向き、表情変化の影響

2. 照明変動の影響

3. 経年変化の影響（しわ、髪、鬚などの影響）

すなわち、顔認識法の識別性能は、これら3つの課題を解決することが重要である。

【0022】（課題1について）課題1に関しては、顔の動画像系列に対して相互部分空間法を適用すれば、その影響を低減できることが確認されている〔山口修、福井和広、前田賢一、“動画像を用いた顔認識システム”、信学技報、PRMU97-50, pp. 17-24, 1997〕。

【0023】しかしながら、残りの課題2、3に関して依然として解決されているとは言えない。

【0024】（課題2について）課題2の照明変動に関しては、3次元物体である顔の認識は、平面上に書かれている文字の認識に比較してその影響をより受け易い。顔の側面から外光が照射されて影やハイライトが生じている場合、人は容易に同一人物として認識できるが計算機には正しく認識することが難しい。

【0025】高いパターン変形吸収能力を持つ相互部分空間法であるが、照明変動の影響に対するロバスト性は改善されていない。これは相互部分空間法において求める角度 θ 、つまり角度を計る2つのベクトル u 、 v の関係に制約が課せられていないからだと言える。さらに見方を変えるとベクトル u 、 v の差分ベクトルに制約が課せられていないことになる。

【0026】したがって、相互部分空間法を照明変動を含んだ画像に対して適用すると、最小角度 θ を成す2つのベクトルの差分ベクトルには照明変動成分が含まれる。異なる人物に対しても、照明変動成分を含むことで実際よりも最小角度が小さくなり、逆に同一人物であるにも拘らず最小角度が大きくなり、異なる人物と識別されてしまう。

【0027】（課題3について）課題3の経年変化によ

る識別性能の低下も同様である。この場合には、差分ベクトルに経年変化による皺などのパターン変動が含まれるために、認識性能が低下してしまう。

【0028】これらの変動に対する不安定さの原因は、照明位置や顔向きなどの変化によって生じる照明変動や経年変化によるパターン変動成分も含めて識別を行っている事に起因する。如何に、これらの識別に不要なパターン変化を取り除くかが解決すべき課題である。

【0029】（本発明の目的）本発明は、上記のような点に鑑みなされたもので、パターン情報を収集する際に混入する識別に不必要なパターン変動成分を効率良く取り除いて、安定なパターン認識法及びその方法を提供することを目的とする。

【0030】特に顔画像認識に適用した場合には、照明変動成分を効率良く取り除いて安定な顔認識を実現する。

【0031】

【課題を解決するための手段】請求項1の発明は、認識したい対象の入力パターンを入力する入力手段と、前記入力手段の入力パターンから入力部分空間を算出する入力部分空間算出手段と、前記対象に関する辞書パターンから辞書部分空間を算出する辞書部分空間算出手段と、パターン認識において不要なパターンの条件を抑制するための制約条件から制約部分空間を算出する制約条件算出手段と、前記入力部分空間算出手段の入力部分空間と、前記辞書部分空間算出手段の辞書部分空間を、前記制約条件算出手段の制約部分空間に射影する射影手段と、前記射影手段によって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間とから、前記対象を識別する識別手段を具備したことを特徴とするパターン認識装置である。

【0032】請求項2の発明は、前記識別手段は、前記射影手段によって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間との成す角度である正準角を計算し、この計算した正準角に基づいて、前記入力部分空間と前記辞書部分空間との類似度を計算することを特徴とする請求項1記載のパターン認識装置である。

【0033】請求項3の発明は、前記制約条件算出手段は、パターン認識において不要なパターンの条件を発生させる要因の影響下において算出された複数の第1部分空間から求まる差分部分空間の集合から、前記要因の影響を取除いた第2部分空間を生成し、この生成した第2部分空間を前記制約部分空間とすることを特徴とする請求項1記載のパターン認識装置である。

【0034】請求項4の発明は、前記制約条件算出手段は、前記対象に関する部分空間内の自己変動を表す複数の自己変動部分空間の集合から自己変動成分を取除いた第3部分空間を生成し、この生成した第3部分空間を前記制約部分空間とすることを特徴とする請求項1記載のパターン認識装置である。

【0035】請求項5の発明は、前記制約条件算出手段は、パターン認識において不要なパターンの条件を発生させる要因の影響下において算出された複数の第1部分空間から求まる差分部分空間の集合から、前記要因の影響を取除いた第2部分空間を生成し、前記対象に関する部分空間内の自己変動を表す複数の自己変動部分空間の集合から自己変動成分を取除いた第3部分空間を生成し、この生成した第2部分空間と第3部分空間とから前記制約部分空間を求めることを特徴とする請求項1記載のパターン認識装置である。

【0036】請求項6の発明は、認識したい対象の入力パターンを入力する入力ステップと、前記入力ステップにおける入力パターンから入力部分空間を算出する入力部分空間算出ステップと、前記対象に関する辞書パターンから辞書部分空間を算出する辞書部分空間算出ステップと、パターン認識において不要なパターンの条件を抑制するための制約条件から制約部分空間を算出する制約条件算出ステップと、前記入力部分空間算出ステップの入力部分空間と、前記辞書部分空間算出ステップの辞書部分空間を、前記制約条件算出ステップの制約部分空間に射影する射影ステップと、前記射影ステップによって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間とから、前記対象を識別する識別ステップを具備したことを特徴とするパターン認識方法である。

【0037】請求項7の発明は、認識したい対象の入力

制約相互部分空間法では、2つの部分空間 P, Q の角度を成すベクトル u, v に対して「 u, v の差分ベクトル $d=u-v$ がある制約部分空間に属する ($d \in \mathcal{L}$)」という制約条件を課す。制約相互部分空間法は、以下の式で定義される。

$$\cos^2 \theta = \sup_{\substack{u \in P, v \in Q, u-v \in \mathcal{L} \\ \|u\| \neq 0, \|v\| \neq 0}} \frac{|(u, v)|^2}{\|u\|^2 \|v\|^2} \quad (14)$$

この(14)式が、制約相互部分空間法を数式化したものであり、相互部分空間法を数式化した(1)式と比べて制約条件が付加されている。

【0041】制約相互部分空間法の実現法について説明する。

【0042】部分空間 P, Q を、制約部分空間 \mathcal{L} へ射影した部分空間を P', Q' とする。また制約部分空間 \mathcal{L} に対応する射影行列を L とすると、以下の関係が成立する。

【0043】

【数5】

$$u' - v' \in \mathcal{L}$$

よって、ベクトル u, v の集合の中で P', Q' に属するものは制約条件 $d \in \mathcal{L}$ を満足する。

パターンを入力する入力機能と、前記入力機能における入力パターンから入力部分空間を算出する入力部分空間算出機能と、前記対象に関する辞書パターンから辞書部分空間を算出する辞書部分空間算出機能と、パターン認識において不要なパターンの条件を抑制するための制約条件から制約部分空間を算出する制約条件算出機能と、前記入力パターン算出機能の入力部分空間と、前記辞書パターン算出機能の辞書部分空間を、前記制約条件算出機能の制約部分空間に射影する射影機能と、前記射影機能によって射影された制約部分空間内の入力部分空間と辞書部分空間とから、前記対象を識別する識別機能を実現するプログラムを記録したことを特徴とするパターン認識方法の記録媒体である。

【0038】

【発明の実施の形態】まず、本発明の実施の形態について順番に説明する。

【0039】(制約相互部分空間法)の概念の説明)本発明は、予め対象となる部分空間から認識に不必要な部分空間を取り除いておいて、2つの部分空間の成す角度を類似度として求める手段を提供する。この方法が、本発明において、初めて提案する技術思想であり、これを新しく“制約相互部分空間法”と名付ける。

【0040】

【数4】

$$P' = LP \quad (15)$$

$$Q' = LQ \quad (16)$$

$$P' \in \mathcal{L} \quad (17)$$

$$Q' \in \mathcal{L} \quad (18)$$

ここで部分空間 P', Q' に属するベクトル u', v' を考えると、 \mathcal{L} は線形部分空間なので、その差分に対して以下の関係が成り立つ。

【0044】

【数6】

$$(19)$$

これから制約条件下で2つの部分空間の成す角度を計算するには、2つの部分空間 P, Q を制約部分空間

L へ射影した後で、射影された 2 つの部分空間 P' , Q' に対して相互部分空間法を適用すれば良いことが分かる。

【0045】(制約部分空間の生成) この制約相互部分空間法において、重要なのがどのように制約部分空間の生成するかにある。

【0046】用途に応じた制約条件、すなわち、ある要因に基づいて発生するパターン認識に不要なパターンの条件を抑制するための制約条件を実現するための様々な

M 次元部分空間 P と N 次元部分空間 Q に対して相互部分空間法を適用すると e 個の正準角 $\theta_i, i = 1 \sim e, e = \min(M, N)$ が求まる。ここで正準角 θ_i を形成する 2 つのベクトル u_i, v_i の差分ベクトルを d_i 、求まった e 個の差分ベクトル d により張られる部分空間を“差分部分空間 D_{PQ} ”と定義する。

部分空間 P, Q の基底ベクトルを ψ, ϕ 、式 (13) から求まる固有ベクトルを cu_i とすると、 i 番目の正準角 θ_i を成す 2 つのベクトル u_i, v_i は、式 (5) から以下の様に求まる。

$$u_i = \sum_{k=1}^M cu_i[k] * \phi[k] \quad (20)$$

また、式 (4) ~ (13) において P と Q 、 v と u を入れ換えた式 (13) の固有ベクトルを cu_i とするとベクトル v_i は、以下の様に求まる。

【0050】

【数 8】

$$v_i = \sum_{k=1}^N cv_i[k] * \psi[k] \quad (21)$$

$$d_i = u_i - v_i \quad (22)$$

u_i と v_i の成す角度が 2 つの部分空間の成す最小角度、 u_2 と v_2 の成す角度がそれに直交する方向に計った最小角度となる。同様に u_3, v_3 以降のベクトルが

【0051】求めた e 個の差分ベクトル d_i はお互いに直交している。各差分ベクトルの長さを 1.0 に正規化した後で、差分部分空間の基底ベクトルとする。

【0052】ここで、同じ照明条件で生成した異なる人

$$D = \bigcap_{\substack{i=1, m, j=1, m \\ i \neq j}} D_{ij} \quad (23)$$

具体的に、差分部分空間 D は m 人分の部分空間セットから以下の手順により求まる。

【0054】1. まず各人物の部分空間 $I-I$ に対応する射影行列 H を求める。

【0055】2. m 個から 2 個を取り出して、合計 $w = m$ 個の差分部分空間 D_{ij} を求める。

$$G = \sum_{k=1}^w \alpha_k D_k \quad (24)$$

ここで α_k は以下の式を満たす正の実数である。

【0058】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

制約部分空間が考えられる。

【0047】例えば、要因の一つである照明変動成分に依存しない部分空間を採用することで、 u, v の差分ベクトルに含まれる照明変動成分が無視されて、照明に対するロバスト性が向上する。

【0048】このような部分空間として 2 つの部分空間の差として求まる“差分部分空間”について説明する。

【0049】

【数 7】

$$\sum_{k=1}^w \alpha_k = 1.0$$

生成行列 G の固有値は、0.0 ~ 1.0 に分布する。

0.0 に対応する固有ベクトルは共通空間に完全に直交する空間を形成する基底ベクトルとなる。1.0 に対応する固有ベクトルは、共通空間を形成する固有ベクトルである。これ以外の固有値に対応する固有ベクトルは、固有値の大きさが共通空間との近さを表す指標になっている。ここでは、固有値が 0 より大きい固有ベクトルを共通空間 D を張る基底ベクトルとする。また、パラメータ α を調整することにより、各部分空間の重みを変えることができる。

【0059】この差分部分空間は、2つの部分空間が同じ照明条件で生成されているため、照明変動成分を含まない。よって、この部分空間を制約部分空間とすれば照明変動成分の影響を抑えた識別を実現することができる。定性的には、照明変動は主に頬、額領域に影響を及ぼすため、この領域の情報を無視することで照明変動に対するロバスト性が向上する。

【0060】また、差分部分空間は、他人との違いを強調して類似した人物同士に対する識別分解能を向上させる効果がある。目、口、鼻など他人との差が表れ易い特徴的な領域のパターン情報を重視して、逆にほほや額領域などの他人との区別には有効でないパターン情報は無

このためには、差分部分

空間 D と自己変動部分空間 S の直交部分空間 (補部分空間) S^\perp との共通部分空間を求めれば良い。求めた共通部分空間を新しい制約部分空間とする。

$$L = D \cap S^\perp \quad (26)$$

部分空間 S に直交する部分空間 (補部分空間) S^\perp の射影行列 S^\perp は以下の式により求まる。

$$S^\perp = I - S \quad (27)$$

ここで S は部分空間 S の射影行列、 I は単位行列を示している。

【0066】制約部分空間 L は、以下に示す生成行列 G_L の 0 より大きい固有値に対応する固有ベクトルが張る部分空間として求まる。

【0067】

【数13】

$$G_L = \alpha D + \beta S^\perp \quad (28)$$

$$\alpha + \beta = 1.0 \quad (29)$$

ここで、重み係数 α 、 β は正の実数である。

【0068】または文献「エルッキ・オヤ著：「パターン認識と部分空間法」産業図書 (1986)」に述べてある2つの部分空間を直交化する方法を用いて、差分部分空間と自己変動部分空間を直交化すれば良い。

【0069】あるいは、参考文献「エルッキ・オヤ著： 50

(25)

視されることになる。

【0061】差分部分空間は、各人物毎に準備しても良い。この場合は、当人と他人との差分部分空間の共通部分空間がその人物固有の差分部分空間となる。各自に対して異なる差分部分空間が準備されることになる。

10 【0062】なお、部分空間に対する各操作に関する詳細は、文献「エルッキ・オヤ著、小川英光、佐藤誠訳、「パターン認識と部分空間法」産業図書、1986」あるいは [Therrien, C.W., "Eigenvalue properties of projection operators and their application to the subspace method of feature extraction", IEEE Trans. Comput., C-24, p. 944-948, 1975] に詳しい。

【0063】(自己変動部分空間) 同一人物の変形を表す部分空間を「自己変動部分空間」と呼ぶ。自己変動部分空間 S は、各人物の部分空間の第2基底ベクトル以降が張る部分空間の共通部分空間として定義される。

20 【0064】(差分部分空間と自己変動部分空間の組み合わせ) 差分部分空間と自己変動部分空間との相関は高い。差分部分空間から自己変動成分に近い部分空間を取り除くことができれば、さらに識別性能が向上する。

【0065】

【数12】

“パターン認識と部分空間法”産業図書 (1986年) に述べてある学習部分空間法の考え方をういて差分部分空間を自己変動部分空間から遠ざける方向に回転させることもできる。この場合の回転方向は、差分部分空間と自己変動部分空間に相互部分空間法を適用して求まる最小角度を成す2つのベクトル u 、 v の中で自己変動部分空間に属するベクトル v に直交する方向とすることができる。

【0070】

【実施例】本発明は、画像を初めとして様々なパターンの認識に適用可能であるが、説明をより具体的に行なうために、顔画像を対象にした場合を説明する。

【0071】(顔画像認識装置10の内容) 以下、本発明の実施例を顔画像認識装置10を例に取って説明する。

【0072】図1は、顔画像認識装置10の概略構成図

を示すブロック図である。顔画像認識装置 10 は、画像入力部 11、顔領域抽出部 12、顔特徴点抽出部 13、正規化画像生成部 14、部分空間生成部 15、部分空間射影部 16、制約部分空間格納部 17、相互部分空間類似度計算部 18、辞書部分空間格納部 19、判定部 20、表示部 21 からなる。

【0073】図 2 は、予めオフラインで行う辞書部分空間生成の流れを示している。

【0074】図 3 は、制約相互部分空間法の概念を示している。

【0075】そして、この顔画像認識装置 10 は、ITV カメラをパソコンに接続してその機能を実現できる。この場合に、顔領域抽出部 12、顔特徴点抽出部 13、正規化画像生成部 14、部分空間生成部 15、部分空間射影部 16、相互部分空間類似度計算部 18、判定部 20 の各機能を実現するプログラムを FD、CD-ROM、DVD などの記録媒体に記録させておき、それをパソコンに記憶させれば良い。

【0076】(画像入力部 11) 画像入力部 11 は、認識対象となる人物の画像を入力するためのものであり、例えば ITV カメラからなる。この画像入力部 11 から入力された画像 01 は A/D 変換器によりデジタル化されて顔領域抽出部 12 に送られる。例えば、ITV カメラはモニタの下部に設置される。あるいはモニタの四角に設置しても良い。

【0077】(顔領域抽出部 12) 顔領域抽出部 12 は、画像入力部 11 から送られてきた入力画像から顔領域画像 02 を常時抽出し続ける。

【0078】本実施例では、予め登録された標準顔画像(テンプレート)を全画面に渡って移動させながら相関値を計算し最も高い相関値をもっている領域を顔領域とする。相関値が設定されたしきい値より低い場合は、顔が存在しないとする。顔の向き変化に対応する為に部分空間法や複合類似度などにより複数のテンプレートを用いるとさらに安定に顔領域を抽出できる。この処理はカラー情報に基づく抽出法に置き換えて良い。

【0079】(顔特徴点抽出部 13) 顔特徴点抽出部 13 では、抽出された顔領域内から瞳、鼻、口端などの特徴点を抽出する。形状情報とパターン情報を組み合わせた方法【特願平 8-61463 号】が適用可能である。

【0080】この方法の基本的な考えは、位置精度の高い形状情報により特徴点の候補を求め、それをパターン照合で検証するというものである。本方法は形状情報により位置決めを行なうので高い位置精度が期待できる。

【0081】また、候補群からの正しい特徴点の選択に、マルチテンプレートを用いたマッチングを適用している為に特徴点の形状輝度の変動に対してロバストである。処理速度に関しては、計算コストの少ない分離度フィルターで絞り込んだ候補に対してのみパターン照合するので全体をパターン照合する方法に比べ計算量の大幅

な削減が実現できる。この他にも、エッジ情報に基づく方法【坂本静生、宮尾陽子、田島譲二、“顔画像からの目の特徴点抽出”、信学論 D-I I, Vol. J76-D-I I, No. 8, pp. 1796-1804, August, 1993】、[A. L. Yuille, “Feature extraction from faces using deformable templates”, IJCV, vol. 8:2, pp. 99-111, 1992] や固有空間法を適用した Eigen feature 法 [Alex Pentland, Rahark Moghaddam, Thad Starner, “View-based and modular eigenspaces for face recognition”, CVPR '94, PP. 84-91, 1994]、カラー情報【佐々木努、赤松茂、末永康仁、“顔画像認識のための色情報を用いた顔の位置合わせ法”、IE91-2, pp. 9-15, 1991】に基づく方法が適用可能である。

【0082】(正規化画像生成部 14) 正規化画像生成部 14 では、特徴点を基準にして正規化を施す。例えば、文献【山口修、福井和広、前田賢一、“動画像を用いた顔認識システム”、信学技報、PRMU97-50, pp. 17-24, 1997】に示された瞳、鼻穴を基準にした正規化処理を適用しても良い。この場合は、両瞳を結んだベクトル、及び鼻穴の中点と瞳中点を結んだベクトルの方向を、それぞれ水平、垂直に変換し、その長さを一定になるようにアフィン変換を施す。

【0083】(部分空間生成部 15) 部分空間生成部 15 では、正規化画像生成部で逐次生成される正規化画像をヒストグラム平坦化、ベクトル長正規化を施した後でメモリに蓄える。予め規定された枚数の正規化画像が蓄えられたら、入力部分空間の生成を開始する。部分空間を逐次生成するために、同時反復法【エルッキ・オヤ著、小川英光、佐藤誠訳、“パターン認識と部分空間法”、産業図書、1986 年】を適用する。これにより新しい正規化画像が入力される毎に部分空間が更新されてゆく。

【0084】なお、入力部分空間を生成するまでの処理についての詳細は、特許【人物認証装置及び人物認証方法：特開平 9-251534 号】及び文献【山口修、福井和広、前田賢一、“動画像を用いた顔認識システム”、信学技報、PRMU97-50, pp. 17-24, 1997】に詳しい。

【0085】(部分空間射影部 16) 部分空間射影部 16 では、部分空間生成部 15 で生成された入力部分空間 P in を制約部分空間格納部 17 に格納された制約部分空間 L 上へ射影した部分空間 P in^L を以下の手順により求める。

【0086】1. 部分空間 P を張る m 個の基底ベクトルを制約部分空間上へ射影する。

【0087】2. 各射影ベクトルの長さを正規化する。

【0088】3. m 個の正規化ベクトルに対してグラムシュミットの直交化を施す。

【0089】4. 直交化された m 個の正規化ベクトルが射影部分空間 P in^L の基底ベクトルとなる。

【0090】各部分空間の次元はデータの種類に応じて実験的に決める。例えば差分部分空間の次元数は70、自己変動部分空間の次元は20次元、入力部分空間の次元は5次元と設定する。重みパラメータに関しては同様に実験的に決める。例えば $\alpha = 0.7$ 、 $\beta = 0.1$ などと設定する。

【0091】辞書部分空間格納部19に格納された人物 i の辞書部分空間 \mathbf{I}_i^L は、各人物に対応する部分空間 \mathbf{I}_i を制約部分空間へ射影した部分空間として予めオフライン処理で部分空間射影部16により求めておく。この手順を図2に示す。

【0092】（相互部分空間類似度計算部18）相互部分空間類似度計算部18では、入力部分空間 \mathbf{P}_{in}^L と辞書部分空間格納部19に格納された人物 i の辞書部分空間 \mathbf{I}_i^L 間の最大 $\cos^2 \theta$ を式(13)より求める。あるいは、2番目、3番目の固有値を考慮した類似度を求めても良い。例えば、 N 番目までの固有値の荷重平均や乗和、あるいは固有値の分布自体をベクトルと見なして類似度とすることもできる。この類似度を辞書登録されている m 人に対して求める。

【0093】（判定部20）判定部20では、 m 人の中で最も類似度が高く、その値が予め設定されたしきい値より大きい場合、対応する人物 i を本人と同定する。この場合、第2候補以降の類似度も考慮して決定しても良い。例えば、第2候補との類似度の差がしきい値より小さい場合は不確定とすることができる。

【0094】（表示部21）CRT、スピーカなどの表示部21では、識別結果を画面に表示したり音声で知らせる。

【0095】（制約部分空間の生成）ここでは、差分部分空間と自己変動部分空間の生成手順について説明する。

【0096】(1) 各人物の部分空間生成

経年変化の影響を低減する制約部分空間も同様に生成できる。ある人物 i の時期 t_1, t_2 に生成した部分空間を $\mathbf{P}_{i,t_1}, \mathbf{P}_{i,t_2}$ とする。 \mathbf{P}_{i,t_1} と \mathbf{P}_{i,t_2} との差分部分空間 \mathbf{D}_{i,t_1-t_2} を求める。 m 人の差分部分空間の共通部分空間の直交部分空間を経年不変部分空間 \mathbf{A}^\perp とする。経年不変部分空間は、経年変化によって生じる皺などの本人識別に不要なパターン変形を取り除く効果がある。

制約部分空間に経年不変部分空間も追加することができる。この場合の制約部分空間は、式(29)に替わり以下の生成行列の固有ベクトルで張られる。

$$\mathbf{G}_L = \alpha \mathbf{D} + \beta \mathbf{S}^\perp + \gamma \mathbf{A}^\perp \quad (30)$$

$$\alpha + \beta + \gamma = 1.0 \quad (31)$$

ここで、重み係数 α, β, γ は正の実数である。

【0103】さらに、3つ以上の制約部分空間の統合も以下の式により容易に行える。

照明条件一定において m 人に対して複数枚の顔画像データを文献〔山口修、福井和広、前田賢一、“動画像を用いた顔認識システム”、信学技報、PRMU97-50, pp. 17-24, 1997〕の方法により収集する。その際被験者の数は多い程好ましい。また収集の際には、被験者に顔を左右上下に向けてもらう。収集した正規化画像データに対して、ヒストグラム平坦化、ベクトル長正規化などの前処理を行った後に、KL展開を適用して部分空間を張る基底ベクトルを求める。

10 【0097】(2) 差分部分空間の生成
生成手順を図4に示す。

【0098】(1)で生成した m 個の部分空間から2つの部分空間を取り出して、その差分部分空間を求める。これを $m \subset 2$ 個の組合せについて行う。さらに $m \subset 2$ 個の差分部分空間の共通部分空間を式(24)により求め、差分部分空間とする。

【0099】あるいは、差分部分空間は人物 i, j の2つの部分空間から求めるのではなく、人物 i, j の正規化画像の差分画像の集合から求めることも可能である。

20 異なる人物間の差分画像を、全ての組み合わせについて求める。収集した差分画像のデータセットに対してKL展開を適用して固有ベクトルを求める。固有値が基準より大きい固有ベクトルを差分部分空間を張る基底ベクトルとする。

【0100】(3) 自己変動部分空間の生成

(1)で生成した各部分空間の第2基底ベクトル以降が張る部分空間を各人の自己変動部分空間として求める。求めた m 個の自己変動部分空間の共通部分空間が自己変動部分空間となる。

30 【0101】(4) 差分部分空間と自己変動部分空間を融合した制約部分空間を式(29)により求める。

【0102】（経年変化に対する制約部分空間）

【数14】

【0104】

【数15】

$$G^* = \sum_{i=1}^n \alpha_i \mathcal{L}_i$$

$$\sum_{i=1}^n \alpha_i = 1.0$$

ここで、 α は正の実数、 \mathcal{L}_i 、 $i=1, n$ は制約部分空間 \mathcal{L}_i に対応する射影行列を表している。

【0105】（前処理の併用）本実施例では、TVカメラから得られる輝度画像を対象とする例について説明した。

【0106】既に述べた様に、本発明において、入力パターンの種類に関する制限は無い。輝度画像から直接生成した差分部分空間は照明変動の影響が多少残っていると思われるので、濃淡情報を照明変動の受け難い特徴量に変換した後、本発明を適用すれば、さらに識別性能の向上が期待できることは容易に類推できる。例えば、文献〔赤松茂、佐々木努、深町映夫、末永康仁、“濃淡画像マッチングによるロバストな正面顔の識別法—フーリエスペクトルによるKL展開の応用—”、信学論(D-I 7, pp. 1363-1373, 1993)〕に述べられてある様に、濃淡画像から生成したフーリエスペクトルパターンを入力としても本発明の効果が増す。

【0107】（情報フィルタリング処理への適用）図7は、キーワードを使ってデータベース検索を行う情報フィルタリング装置100に関する構成図である。

【0108】情報フィルタリング装置100は、プロファイル入力部101、部分空間生成部102、部分空間射影部103、制約部分空間格納部104、類似度算出部105、辞書部分空間格納部106、判定部107から構成される。

【0109】情報フィルタリングでは、ユーザの関心や興味を記述したプロファイルとの類似度を算出し、類似度順にランキングする。

【0110】ここで類似度の算出は、ベクトル空間法をベースに行う〔住田一男他、情報フィルタリング技術、東芝レビュー、Vol. 51, No. 1, pp. 42-44 (1996)〕。

【0111】本実施例では、一つのプロファイルの一つの部分空間に対応させる。このためには、データ全体を一度にベクトル化するのではなく、ある規則で区切られたデータ、例えば、章毎のデータに対してベクトル化を行う。章毎に得られたベクトル群から部分空間を生成する。なお類似度は部分空間と部分空間の成す角度から得られる値とする。

【0112】プロファイル入力部101に入力されたプロファイルは、部分空間生成部102において部分空間に変換される。入力部分空間は、部分空間射影部103において制約部分空間格納部104に格納された制約部分空間上に射影される。

【0113】射影された入力部分空間は、類似度算出部

(32)

(33)

105に送られて辞書部分空間格納部104に格納された辞書部分空間との類似度が相互部分空間法により求められる。

10 【0114】類似度は判定部107に送られて入力プロファイルがどのプロファイルに近いかを判定する。

【0115】本実施例で用いる制約部分空間は、予め用意された複数の部分空間に対して、以下の手順により生成する。

【0116】1. 異なるプロファイルとして分類すべき2つの部分空間の差分部分空間を全ての組み合わせに対して求める。

【0117】2. 求めた差分部分空間から共通部分空間を求め、この求めた制約部分空間1とする。

20 【0118】3. 同じプロファイルと分類したい2つの部分空間の差分部分空間を全ての組み合わせについて求める。

【0119】4. 求めた差分部分空間の共通部分空間を求めて、さらにこの共通部分空間と直交する部分空間を制約部分空間2とする。

【0120】5. 制約部分空間1と制約部分空間2を組み合わせた部分空間を最終的な制約部分空間とする。

【0121】上記の制約部分空間を用いることにより、精度の悪いキーワードを選択しても、自動的にこれらの影響を取り除いて安定なデータベース検索が行える。

【0122】なお、本発明は、上記の顔画像パターンの認識以外に、音声パターン、情報フィルタリングにおけるプロファイルパターンなどあらゆるパターン情報に対しても成り立つ。

【0123】

【発明の効果】以上、本発明によれば、パターン情報を取得する際に混入する識別に不必要な情報を効率良く取り除いてパターン認識を安定に行うことができる。特に、顔画像認識に適用すると、高い変形吸収能力と照明変動に対する高いロバスト性が実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】顔画像認識装置10の構成図である。

【図2】辞書部分空間の生成手順の説明図である。

【図3】制約相互部分空間法の説明図である。

【図4】差分部分空間の生成の説明図である。

【図5】自己変動部分空間の生成の説明図である。

【図6】複数の制約部分空間の統合の説明図である。

【図7】情報フィルタリング装置の構成図である。

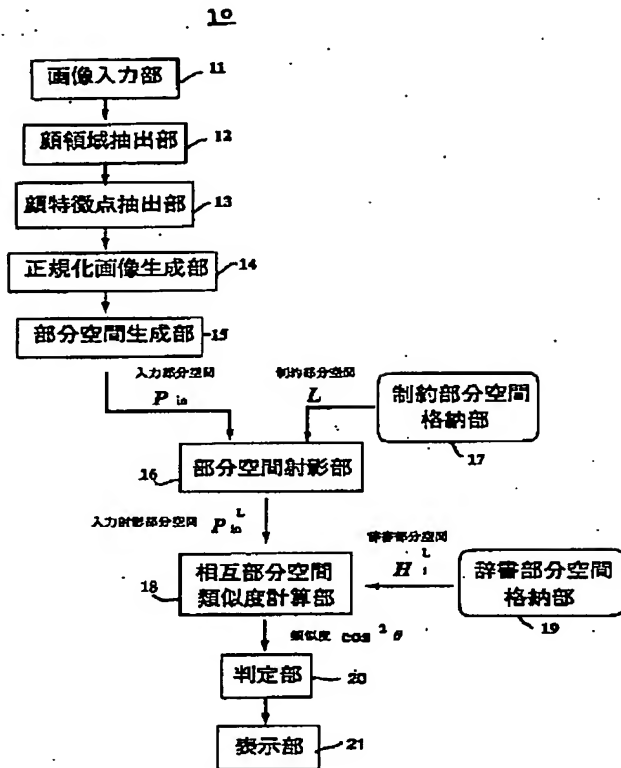
【符号の説明】

50 11 画像入力部

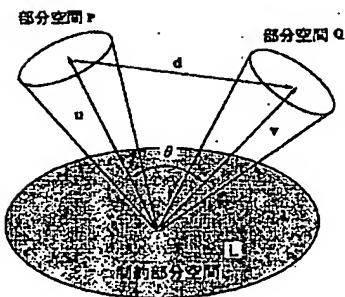
21

- 12 顔領域抽出部
- 13 顔特徴点抽出部
- 14 正規化画像生成部
- 15 部分空間生成部
- 16 制約部分空間格納部

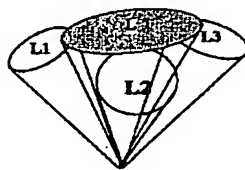
【図 1】



【図 3】



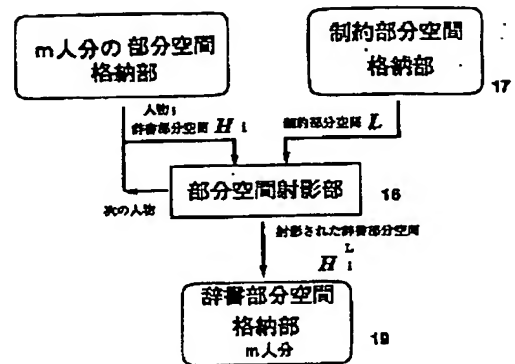
【図 6】



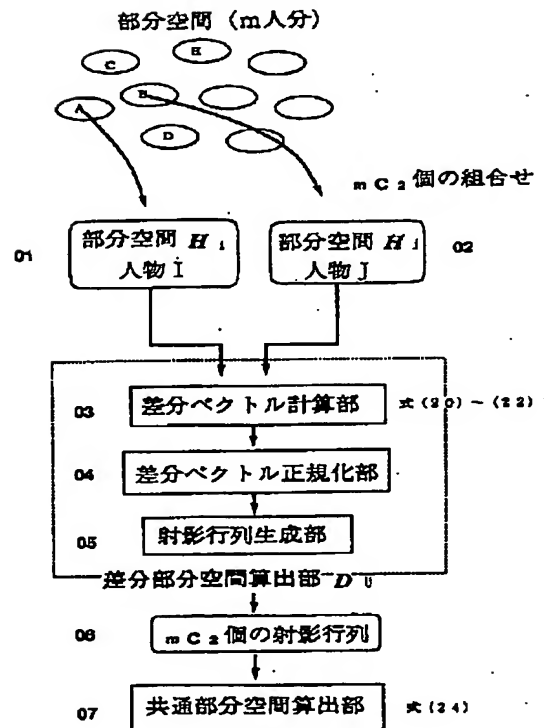
22

- 17 辞書部分空間格納部
- 18 部分空間射影部
- 19 相互部分空間計算部
- 20 判定部
- 21 表示部

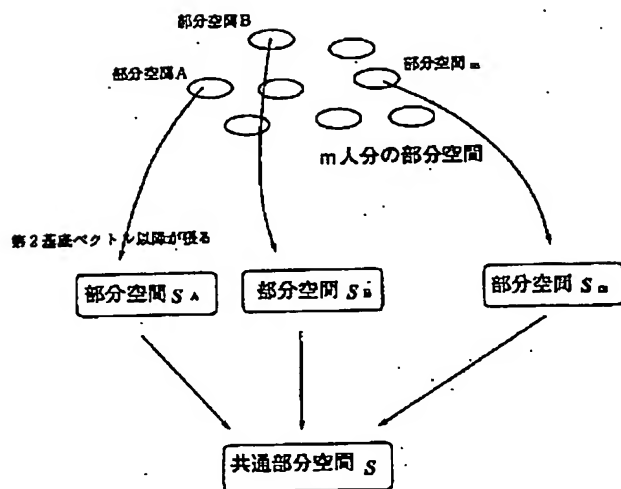
【図 2】



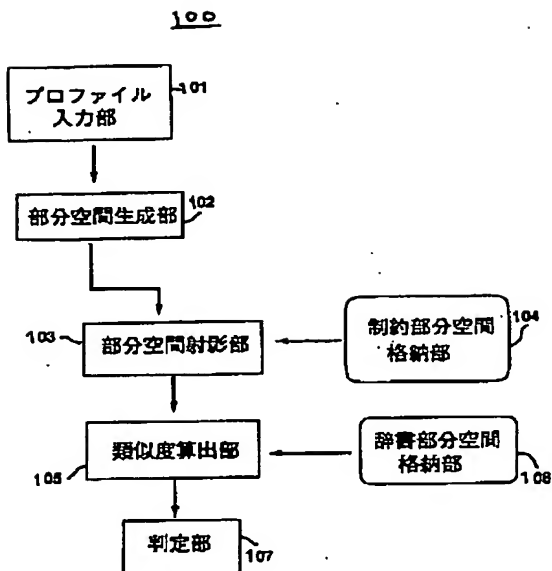
【図 4】



【図 5】



【図 7】



x

フロントページの続き

(72) 発明者 鈴木 薫
 兵庫県神戸市東灘区本山南町 8-6-26
 株式会社東芝関西研究所内

(72) 発明者 前田 賢一
 兵庫県神戸市東灘区本山南町 8-6-26
 株式会社東芝関西研究所内

F ターム (参考) 5B043 BA04 EA04 EA11 GA01 HA02
 5B057 AA20 BA02 BA29 CD01 CE09
 DA07 DA11 DA16 DC19 DC33
 5L096 BA18 CA02 EA13 EA35 FA25
 HA08 JA03